Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Strahlenbiologische Untersuchungen, III

Über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Atmung der Wurzelspitzen von *Vicia faba*

Von

Egon Bersa

Aus dem pflanzenphysiologischen Institut der Universität in Graz

(Mit 4 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 17. November 1927)

Einleitung.

Die Frage nach der Beeinflussung der Atmung durch Röntgenstrahlen ist bis vor kurzem in der Literatur nur gelegentlich berührt worden. Die ersten, die sich mit diesem Problem näher beschäftigten, waren Hèbert und Kling (1909). Sie untersuchten die Veränderungen einer kohlensäurereichen Atmosphäre durch Blätter, die einer 24stündigen Bestrahlung von Radiumbromid ausgesetzt waren und kamen zu den Resultate, daß die Atmung herabgesetzt war, wenn die Blätter durch die Bestrahlung geschädigt wurden. Merkwürdigerweise blieb die Assimilationstätigkeit unbeeinflußt.

Nachdem für Karzinom- und Sarkomzellen eine Erhöhung der Atmung bei Bestrahlung nachgewiesen worden war (Kimura, 1919), untersuchten Redfield und Bright (1922) die Beeinflussung der Atmung von Rettichsamen durch Radiumemanation. Sie fanden, daß nach zweitägiger Bestrahlung zwar die Keimfähigkeit bedeutend herabgesetzt war, daß aber trotzdem eine Erhöhung der Atmungsintensität eintrat.

Petry (1923) beschäftigte sich ebenfalls mit der Frage und fand, daß stärkere Bestrahlungen eine Herabsetzung der Atmungsintensität bewirken.

Nun folgen rasch hintereinander mehrere Arbeiten über einschlägige Probleme. Es sind dies die Untersuchungen von Gottschalk und Nonnenbruch (1923), Barreto (1923), Wels (1924), Sonne (1926), Roffo und Barbara (1925) an tierischen, sowie die Arbeiten von Wels und Osann (1924), Kondratjew (1925), Schneider (1925), Reich (1925) und Johnson (1926) an pflanzlichen Objekten.

Uns interessieren im wesentlichen nur die letzteren. Während Wels und Osann (1924) keine Beeinflussung der Hefegärung fanden, konstatierte Schneider (1925), daß die Hefe nur dann eine merkliche Herabsetzung (10%) der Gärfähigkeit zeigt, wenn sie

nach Ansetzen des Gärungsversuches bestrahlt wird. Trockene Hefe (im latenten Leben) ist fast unempfindlich. Ebenso wird die Gärung der bestrahlten Hefe durch Salzzusätze merklich behindert.

Während Kondratjew (1925) nur indirekt aus einer Veränderung der Oxydations- und Reduktionskraft der Zellbestandteile (insbesonders des Kernes) durch Radiumstrahlung auf eine Änderung der Atmung schließt, beschäftigen sich die Arbeiten von Reich (1925) und Johnson (1926) direkt mit dem Einfluß von Radium- und Röntgenstrahlen auf die Atmung von Keimlingen. Johnson (1926) stellte nur zwei Versuche an, um festzustellen, wie röntgenbestrahlte *Helianthus*-Keimlinge reagieren. Die Bestrahlungsdosen waren sehr hoch (24 und 40 HED). Auch sie findet eine ausgesprochene Depression der Atmung, die mit der Entwicklungshemmung parallel geht.

Am eingehendsten hat sich Reich (1925) mit der Wirkung von Radiumstrahlen auf die Atmung von *Pisum*-Keimlingen beschäftigt. Er bestimmte die während einer Versuchsdauer von 5 bis 8 Stunden ausgeatmete Kohlensäure in einem Pettenkofer'schen Apparat. Die Resultate seiner Arbeit lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Die Bestrahlung ruft an trockenen wie gequollen bestrahlten Samen eine mit der Dauer des Versuches zunehmende Atmungsdepression hervor, die um so stärker ist, je länger die Bestrahlung dauert. Bei den schwächeren Dosen ist diese Depression nur vorübergehend und die Atmung kann nach einiger Zeit die Werte der Kontrolle wieder erreichen. Außerdem findet sich bei kurzen Bestrahlungen eine vorübergehende Förderung der Atmung, während bei längeren Bestrahlungen diese Förderung in eine später einsetzende Depression übergeht.

Mit Rücksicht auf das Problem der Strahlenwirkung sind diese Resultate sehr wichtig, und ihre Bestätigung wäre jedenfalls sehr erwünscht. Man vermißt allerdings bei den Versuchen eine Bestimmung der Fehlergrenzen. Trotz der peinlichen Sorgfalt, die der Verfasser bei der Auswahl der Samen anwendete, ist es doch gewagt, aus der Atmung von nur zwölf Samen (sechs für die Kontrolle, sechs bestrahlte) Schlüsse von solch weittragender Bedeutung zu ziehen. Man bedenke, daß Samen, die »dem Gewichte, der Größe und dem äußeren Aussehen nach« (Reich, 1925, p. 8) gleich sind, in ihrem Wachstum zwar mehr oder weniger gleichartig sein können, daß wir aber daraus keine Schlüsse auf ihre übrigen physiologischen Eigenschaften ziehen dürfen (Weber, 1925). Wenn die Atmung auch nur eines Samens stärker differiert, kann der ganze Kurvenverlauf verschleiert werden. Es wäre daher geboten gewesen, mehrere gleiche Versuche im Protokoll wiederzugeben, um diesen Unsicherheitsfaktor beurteilen zu können.

Nachdem sich nunmehr auch von medizinischer Seite die Stimmen mehren, die außer einer Hemmung bei starken Bestrahlungen auch eine (wenigstens vorübergehende) Atmungssteigerung angeben (Gottschalk und Nonnenbruch, Barreto), andere

wieder, wie Wels (1924), jeden Einfluß in Abrede stellen, war es angezeigt, das Problem, wenigstens für Pflanzen, einer näheren Prüfung zu unterziehen.

Da Petry (1923) bei Bestrahlung von Samen selbst bei Dosen, die ein Drei- bis Vierfaches der eben maximal hemmenden Strahlenmenge betrugen, zu Beginn der Versuche nur geringe Unterschiede erhielt, und auch Reich (1925, p. 32) angibt, daß bestrahlte Kotyledonen in viel geringerem Maße in ihrer Atmung beeinflußt werden als Wurzel und Sproß, so wählte ich nach einigen orientierenden Versuchen Wurzelspitzen als Versuchsobjekt, deren meristematische Teile bekanntlich durch ihre hohe Strahlenempfindlichkeit ausgezeichnet sind. Schon kurze Zeit nach der Bestrahlung macht sich an diesen die Schädigung durch eine Herabsetzung der Kernteilungsfrequenz bemerkbar (Pekarek, 1927). Es ist daher zu erwarten, daß dieses so empfindliche Gewebe auch am ehesten mit einer deutlichen Atmungsänderung antwortet. Gleichzeitig muß auch bedacht werden, daß ganze Samen durch die Samenschale in ihrer Atmung behindert sind (Sierp, 1925; Stålfelt, 1926). Durch Schälen der Samen läßt sich dieser Übelstand vermeiden. Doch bilden die großen Kotyledonen immer noch eine größere kompakte Masse, so daß rasche Schwankungen der Atmung nicht sehr deutlich zum Ausdruck kommen.

Methodik.

Als Versuchsmaterial wurden Samen von *Vicia faba equina* verwendet. Reinrassiges, sehr gleichmäßig keimendes Material war für die Versuche Vorbedingung. Solches erhielt ich von der Saatzuchtanstalt der landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim. Die sorgfältig ausgesuchten Samen wurden 2 Tage lang zweimal gewechseltem Wasser von 25° C angequollen. Nach dieser Zeit hatten die meisten Samen die Testa gesprengt. Hierauf wurden sie nochmals sorgfältig ausgesucht und in zwei nach Aussehen, Größe und Keimzustand möglichst gleiche Gruppen geteilt. Die eine diente als Kontrolle, die andere wurde bestrahlt. Zu diesem Zwecke wurden die Samen in einer Glasschale auf einer Unterlage von feuchten Sägespänen zu einer Fläche ausgelegt und dafür gesorgt, daß sie sämtlich mit der Wurzel (und also auch mit dem Embryo) nach oben gekehrt waren.

Die zur Bestrahlung verwendete Apparatur ist schon früher (Bersa, I) beschrieben worden. Es sei nur bemerkt, daß die Bestrahlung bei sämtlichen Versuchen die Härte II (siehe l. c. p. 435), entsprechend einer parallelen Funkenstrecke von 10 *cm* (zwischen Spitze und Platte), Unterbrecherfrequenz 55, sekundäre Stromstärke 2 Milliampère, ohne Filter, vorgenommen wurde. Der Abstand Objekt—Antikathode betrug 19·5 *cm*. Da die von den Samen bedeckte Kreisfläche etwa 8 *cm* Durchmesser hatte, war die Bestrahlung genügend gleichmäßig (im Maximum 3·5% Unterschied). Durch Bedecken mit feuchtem Filterpapier wurde sowohl ein Austrocknen verhindert, als auch die geringe Wärmestrahlung der Röhre abgehalten. Die Dosis betrug 1, 5 und 10 H, entsprechend einer Zeit von 2, 10 und 20 Minuten. Nach der Bestrahlung wurden sowohl die Kontrollen als auch die bestrahlten Samen in eine Keimschale mit Sägespänen gesetzt, so daß jede Verschiedenheit des Mediums für beide Portionen ausgeschaltet war.

Die Keimschalen kamen dann in ein Glashäuschen von zirka 60×60×60 *cm*. Der Boden derselben bestand aus einer flachen, geschlossenen Zinkwanne, die mit Wasser gefüllt war und von unten durch ein regulierbares Gasflämmchen geheizt werden konnte. Die Keimschalen standen nicht direkt am Boden auf, sondern waren durch Stützen etwas erhöht, so daß sie allseits von Luft umgeben waren. Die

Luft im Häuschen wurde möglichst feucht gehalten. Durch diese einfache Anordnung, die mehrmals täglich kontrolliert wurde, war es möglich, auch im Winter die Keimungstemperatur zwischen 22 und 26° C. zu halten. Er war dadurch die Gewähr geboten, daß die Keimlinge verschiedener Versuche unter annähernd ähnlichen Bedingungen wuchsen. Nach 1, 2 oder 3 Tagen wurden dann die Samen zu den Versuchen verwendet.

Für jene Versuche, die 1 und 6 Stunden nach der Bestrahlung angestellt wurden und für die Blindversuche mußten die Samen nach der 48 stündigen Quellung 3 Tage in Sägespänen angekeimt werden, um genügend lange Wurzeln zu erhalten. Auch bei diesen wurden je zwei nach der Größe des Samens, der Länge und Stärke der Wurzel möglichst gleiche Keimlinge ausgesucht und so zwei Portionen gebildet, die sich, aller Voraussicht nach, gleich verhalten mußten. Beide Portionen wurden in Schalen mit Sägespänen kreisförmig angeordnet, die Wurzel-

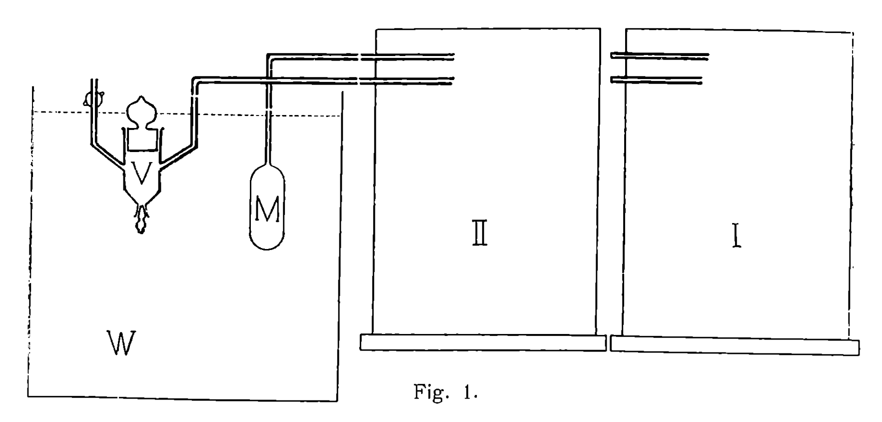


Fig. 1.

spitze zum Mittelpunkt gerichtet, mit feuchtem Filterpapier bedeckt und hierauf eine davon bestrahlt. Für die Versuche nach 6 Stunden kamen die Keimlinge wieder in die Sägespäne zurück.

Die Apparatur sollte drei Ansprüchen Genüge leisten. 1. Einfache und rasche Ablesung der Volumsveränderung auch in kürzeren Intervallen während des Versuches. 2. Genügende Emfindlichkeit. 3. Konstanthaltung der Temperatur der Versuchsobjekte.

Ich verwendete daher zwei Haldane'sche Gasmeßapparate, wie sie von der Firma P. Haak in Wien speziell für medizinische Zwecke hergestellt werden. Einen von beiden stellte mir Herr Hofrat O. Loewi aus den Beständen des pharmakologischen Instituts in entgegenkommender Weise zur Verfügung. Ich möchte ihm hiefür auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aussprechen. Was den Bau und die Arbeitsweise dieser Apparate betrifft, verweise ich auf die Originalbeschreibung von Haldane (1920).[1] Zum Verständnis der Versuchsanordnung sei nur soviel bemerkt, daß der Apparat zwei Kapillarrohransätze besitzt, an deren eines das Versuchsgefäß (*V* in der Fig. 1), an das andere das Ausgleichsgefäß (Manometergefäß *M*) angeschlossen wird. Dadurch wird erreicht, daß die Ablesungen, so lange der Versuch im Gang ist, von Druck- und Temperaturschwankungen unabhängig sind. Die Ablesungsbürette faßt 1 cm^3 und ist in 100 Teile geteilt. Durch Verwendung eines Horizontalmikroskopes kann die Niveaueinstellung in den Manometerkapillaren sehr genau vorgenommen und bei der Ablesung der Bürette Bruchteile eines 0·01 cm^3 leicht geschätzt werden. Die Fehler betragen dabei höchstens 0·005 cm^3.

Um Temperaturschwankungen während des Versuches auszuschalten, insbesondere um zu verhindern, daß dadurch die Intensität der Atmung beeinflußt

[1] Die Originalarbeit war mir leider nicht zugänglich. Für die Unterweisung im Gebrauch des Apparates bin ich Herrn Dr. J. Häusler zu Dank verpflichtet.

werde, wurden die Versuchs- und Manometergefäße in einen Wasserthermostaten eingesetzt. Dieser bestand aus einem zirka 18 *l* fassenden Zinktopf. der mittels Toluolregulator und Gasheizung konstant auf 25° C. gehalten wurde. In den Sommermonaten mußte außerdem durch einen konstanten Wasserdurchfluß für Abkühlung gesorgt werden. Ein Rührer sorgte für gehörige Durchmischung. Es gelang auf diese Weise, die Temperatur der Versuche sehr genau auf 25° C. zu halten, mit Schwankungen von höchstens 0·02° während einer Versuchsdauer.

Die zu einem Versuch bestimmten Wurzeln wurden flüchtig von anhaftenden Sägespänen in temperiertem Wasser abgespült. Auf einer Unterlage von nassem Filterpapier wurden die Wurzelspitzen genau in der Länge von 1 *cm* [1] abgeschnitten. Sie wurden nun mit einem Pinsel auf den für das Versuchsgefäß schon vorbereiteten Einsatz gebracht. Dieser bestand aus einem in Paraffin ausgekochten Kartondreieck (Fig. 2), auf das eine nasse Filterpapierscheibe gelegt wurde (destilliertes Wasser).

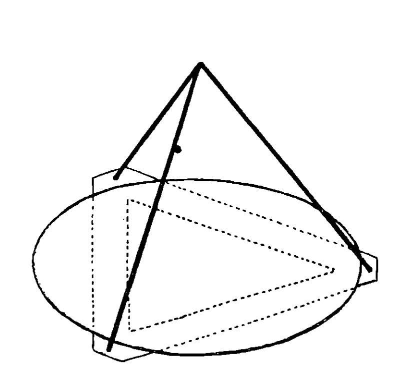


Fig. 2. Einsatz für das Versuchsgefäß, bestehend aus einem paraffinierten Kartondreieck, an welchem ein Drahtgestell zum leichteren Anfassen befestigt ist. Eine runde, befeuchtete Filterpapierscheibe dient als Unterlage für die Wurzeln.

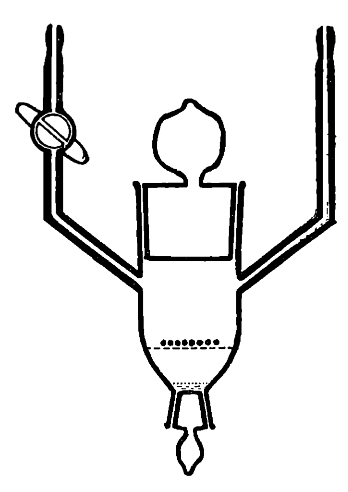


Fig. 3. Versuchsgefäß. Am Grunde die Kalilauge zur Absorption der Kohlensäure. Darüber der Einsatz mit den Wurzeln. Siehe auch Text.

Auf dieser Scheibe wurden die Wurzelspitzen möglichst gleichmäßig horizontal ausgebreitet. Um die individuelle Variabilität möglichst auszuschalten, führte ich in jedes Versuchsgefäß 30 bis 50 Wurzelspitzen ein.

Das Versuchsgefäß (Fig. 3) bestand aus einem etwa 40 cm^3 fassenden, unten verjüngten Zylinder, mit oben und unten eingeriebenen Glasstopfen und zwei seitlichen Kapillarrohransätzen. Der eine Rohransatz (in der Figur rechts) diente als Anschluß für die Verbindung zum Meßapparat; der andere war durch einen Hahn verschlossen und diente zum Durchlüften der Kammer bei länger dauerndem Versuch. Gemessen wurde das Volumen des aufgenommenen Sauerstoffs. Es mußte daher die durch Atmung gleichzeitig entstandene Kohlensäure durch Absorption weggeschafft werden. Zu diesem Zweck wurden auf den Boden des Gefäßes fünf bis zehn Tropfen starker Kalilauge gebracht. Diese Menge war so berechnet, daß sie für eine weitaus (mindestens zehnfach) größere Kohlensäuremenge ausreichte, als während eines Versuches normalerweise erzeugt wurde. Darüber befand sich der Einsatz mit den Wurzeln.

[1] Mit Rücksicht darauf, daß nur die ersten 4 *mm* aus meristematischem Gewebe bestehen, wurde anfangs versucht, nur 5 *mm* lange Wurzelspitzen zu verwenden. Ihre Masse war (bei der verwendeten Anzahl von 50 Stück) zu klein und die Atmung daher zu gering, um zuverlässige Ablesungswerte zu geben.

Ein solcher Versuch dauerte in der Regel 2 Stunden. Bei Beginn jedes Versuches mußte aber erstens die Angleichung der Gefäße an die Badtemperatur abgewartet werden, was zirka 20 bis 30 Minuten dauerte; zweitens mußten die Verbindungen zwischen Versuchsgefäßen und Apparat (dickwandige Glaskapillaren, die mit kräftigen Schläuchen an das Versuchsgefäß und an den Apparat anschlossen) genau auf ihre Dichtigkeit kontrolliert und sorgfältig mit Vaseline abgedichtet werden. Alle diese Manipulationen nahmen zirka $^3/_4$ Stunden in Anspruch. Es war daher nicht zu umgehen, daß vom Beginn des Abschneidens der Wurzeln bis zum tatsächlichen Ablesungsbeginn eine gewisse Zeit verstrich. Nach dem Versuch wurden die Wurzeln abgewogen und die Menge des aufgenommenen Sauerstoffes auf das Lebendgewicht umgerechnet.

Versuchsfehler. Um Fehler, die sich aus einer eventuellen Ungleichheit der beiden Apparate ergeben konnten, auszuschließen, wurden sowohl die Versuchsgefäße als auch die Apparate bei jedem neuen Versuch ausgetauscht. Es war die Kontrolle daher einmal am Apparat I, das nächstemal an II angeschlossen.[1] Was den durch das Abschneiden gesetzten Wundreiz betrifft, so hat Stålfelt (1926) nachgewiesen, daß bei *Sinapis alba* das Abschneiden der Wurzeln keine merkliche Änderung der Atmungsgröße bewirkt. Auch der, durch die Aufhebung der Verbindung mit der Mutterpflanze verursachte Mangel an Nährstoffen scheint nach ihm nicht so stark zu sein, daß dadurch die Atmung behindert ist. Es ist daher zu erwarten, daß dies auch in unserem Falle keine solche Rolle spielt, um so weniger, als ja die Versuchszeit nie über ein bestimmtes Maß ausgedehnt wurde (längstens 4 Stunden). Auch würden sich solche Änderungen der Atmung an beiden Proben auswirken und dadurch aufheben. Wir wissen allerdings nichts darüber, ob nicht die bestrahlten Wurzeln auf Wundschäden anders reagieren als die Kontrollen, doch dürfte eine Entscheidung auf Schwierigkeiten stoßen.

Versuche.

Um die auftretenden Unterschiede zwischen bestrahlten und unbestrahlten Wurzeln auf ihre Beweiskraft richtig beurteilen zu können, mußten eine Reihe von Leerversuchen ausgeführt werden. D. h. es wurden unter denselben Bedingungen und unter Vornahme derselben Manipulationen zwei möglichst gleiche, unbestrahlte Wurzelgruppen miteinander auf ihre Atmungswerte verglichen.

Die Resultate der einzelnen Versuche sind gekürzt in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Zur Erklärung dieser und der folgenden Tabellen sei noch hinzugefügt, daß als Basis für die Berechnung des Verhältnisses die auf 1 *g* Frischgewicht und 1 Stunde umgerechnete Sauerstoffaufnahme benützt wurde. Absolute Werte waren dazu nicht nötig. Ich teile aber trotzdem die Temperatur und den Luftdruck in den Tabellen mit, aus denen eine Berechnung jederzeit möglich ist.

---

[1] Die Fehler, die bei der Ablesung der Meßbürette gemacht werden können, betragen höchstens 2% und spielen bei der Größe der Atmungswerte keine Rolle.

Versuchsserie I. Blindversuche.

Tabelle 1.

Vers. Nr.	Aufgenommener O_2 in 1 Stunde in cm^3		Frischgewicht der Wurzeln in *g*		O_2 per Stunde und auf 1 *g* Gewicht		Temp.	Luft-druck	Ver-hältnis
	Kontrolle						° C	*mm* Hg	100
	I	II	I	II	I	II			
51	0·315	0·315	0·435	0·426	0·724	0·739	25·03	733	102·1
52[1]	0·305	0·325	0·444	0·505	0·687	0·644	25·03	736	93·8
53	0·363	0·360	0·445	0·446	0·815	0·812	25·03	740	99·7
54[1]	0·400	0·433	0·489	0·483	0·818	0·895	25·03	737	109·4
55	0·363	0·369	0·419	0·443	0·865	0·833	25·03	739	96·4
56[1]	0·414	0·385	0·511	0·485	0·810	0·794	25·05	741	98·0
58	0·369	0·405	0·507	0·495	0·727	0·818	25·05	732	112·6
59[1]	0·401	0·390	0·555	0·561	0·723	0·695	25·05	732	96·2
71[1]	0·370	0·350	0·448	0·447	0·826	0·784	25·03	741	94·9

Mittel aus den Frischgewichten: I: 0·476 *g*, II: 0·436 *g*.

Wir ersehen aus dieser Zusammenstellung, daß die erhaltenen Werte der Atmungsintensität beträchtlichen Schwankungen unterliegen, die nicht in der Versuchsmethode begründet sein können. Rechnen wir nach bekannten variationsstatistischen Methoden den Mittelwert, so erhalten wir aus der obigen Tabelle:

100 100·3;
Variationskoeffizient: ± 6·2%;
$m = \pm 2 \cdot 1$ (± 2·1%).

Der mittlere Fehler des Mittelwertes schwankt um zirka 2·1%, während die Abweichungen der einzelnen Versuche vom Mittelwert etwa 6·2% betragen. Wir müssen uns also damit abfinden, daß die Versuche beträchtliche Schwankungen aufweisen.

Sie werden dadurch begreiflich, daß sich vorzugsweise zwei variable Faktoren überlagern. Erstens die Variabilität des Gewichtes der einzelnen Wurzeln, die trotz der verwendeten großen Zahl (etwa 30 bis 50) noch nicht genügend ausgeschaltet wird. Zweitens die individuellen Schwankungen der Atmungsintensität. Infolgedessen muß diese Unsicherheit durch entsprechend zahlreiche Versuche aufgewogen werden.

Ich beginne mit der Wiedergabe der Versuche, die 3 Tage nach der Bestrahlung gemacht wurden, da bei diesen die Verhältnisse am klarsten liegen.

Mit vertauschter Apparatur ausgeführt (siehe Methodik p. 408).

Versuchsserie II.

Bestrahlung 5 H; 3 Tage nach der Bestrahlung.

Tabelle 2.

Vers. Nr.	Aufgenommener O_2 in 1 Stunde in cm^3		Frischgewicht der Wurzeln in g		O_2 per Stunde und auf 1 g Gewicht		Temp.	Luftdruck	Verhältnis
	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	° C	mm Hg	100
8	0·638	0·695	0·713	1·745	0·447	0·199	25·02	727	44·5
9	0·450	0·510	0·898	1·582	0·501	0·322	25·03	735	64·3
10	0·435	0·397	0·610	0·861	0·713	0·461	25·03	723	64·7
11	0·477	0·440	0·831	0·848	0·574	0·519	25·03	735	90·4
12	0·446	0·373	0·711	1·547	0·627	0·241	25·03	727	38·4
13	0·502	0·407	1·005	0·815	0·779	0·534	25·02	728	68·4
14	0·537	0·460	0·670	1·024	0·802	0·449	25·02	727	56·1
15	0·435	0·422	0·746	0·977	0·583	0·432	25·02	731	74·1
16	0·497	0·400	0·632	1·323	0·786	0·303	25·03	730	38·5
17	0·519	0·285	0·675	0·959	0·769	0·298	25·02	737	39·7
25[1]	0·478	0·315	0·724	0·912	0·660	0·345	25·03	730	52·4

Mittel aus den Frischgewichten: Kontr.: 0·747 g, bestr.: 1·145 g.

[1] Mit vertauschter Apparatur ausgeführt.

Die Schwankungen der Einzelwerte sind sehr groß. Die Berechnung ergibt — den Wert der Kontrolle gleich 100 gesetzt — einen Mittelwert von:

100 : 57·3;
Variationskoeffizient: ± 28·2%;
$m = \pm 4{\cdot}9$ (± 8·6%).

Drei Tage nach der Bestrahlung zeigen also die mit 5 H bestrahlten Wurzeln eine Verminderung der Atmung auf fast die Hälfte der Kontrollwurzeln. Solche Wurzeln zeigen schon sehr schwere Schädigungen. So wurde beispielsweise die Länge der Wurzeln in Versuch 25 gemessen. Es ergab sich für die Kontrolle eine Länge von 7·3 *cm* (Mittel aus 28 Wurzeln), für die bestrahlten eine solche von 3·1 *cm* (27 Wurzeln). In anderen Versuchen waren die Unterschiede noch größer, manchmal auch weniger ausgeprägt. Deutlich aber war jederzeit, außer einer Verkürzung, die charakteristische Verdickung der bestrahlten Wurzeln, beginnende Bräunung und Hinunterrücken der Wurzelhaarbildung bis in die Nähe der Spitze (Koernicke [1915], Pekarek [1927]).

Auf die Verdickung der Wurzeln geht auch der starke Gewichtsunterschied der bestrahlten Wurzelspitzen gegenüber den Kontrollen zurück.

Versuchsserie III.

Bestrahlung 5 H; 2 Tage nach der Bestrahlung.

Tabelle 3.

Vers. Nr.	Aufgenommener O_2 in 1 Stunde in cm^3		Frischgewicht der Wurzeln in *g*		O_2 per Stunde und auf 1 *g* Gewicht		Temp.	Luftdruck	Verhältnis
	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	° C	*mm* Hg	100
18[1]	0·600	0·384	0·754	1·073	0·796	0·358	25·01	723	45·0
19	0·490	0·455	1·016	1·392	0·482	0·327	25·03	742	67·8
20	0·490	0·430	0·838	1 138	0·585	0·378	25·04	740	64·6
22[1]	0·394	0·375	0·590	0·919	0·668	0·408	25·04	732	61·1
23	0·450	0·258	0·555	0·914	0·811	0·282	25·03	729	34·8
26[1]	0·380	0·388	0·574	0·873	0·662	0·444	25·04	740	67·1

Mittel aus den Frischgewichten: Kontr.: 0·721 *g*, bestr.: 1·052 *g*.

Mit vertauschter Apparatur ausgeführt.

Auch zwei Tage nach der Bestrahlung ist die Verminderung der Atmungsintensität bedeutend größer als bei den Kontrollen. Der Mittelwert beträgt:

100 56 7;
Variationskoeffizient. $\pm$ 22·1%;
$m = \pm 5 \cdot 1$ ($\pm$ 9·0%).

Obwohl die Schädigung der Wurzeln nicht so weit vorgeschritten ist wie bei den vorher beschriebenen Versuchen, haben wir eine gleich starke Herabsetzung der Atmung zu verzeichnen. Möglich, daß dies nur ein Zufall ist. Zahlreichere Versuche hätten die Zahlen vielleicht noch etwas verschoben. Die Verdickung der Wurzeln ist nicht so stark, auch die Längenunterschiede gegenüber den Kontrollen sind geringer. Aus fünf Versuchen ergaben Längenmessungen folgende Werte:

Tabelle 4.

Versuch	Länge in *cm* Kontrolle	bestrahlt
18	3·8 (14)	2·8 (15)
19	2·9 (15)	2·0 (15)
22	4·3 (18)	2·7 (18)
23	4·9 (17)	2·8 (12)
26	4·6 (8)	2·7 (6)
Mittel....	4·1	2·6

Die Zahlen in den Klammern geben die Anzahl der gemessenen Wurzeln an.

Versuchsserie IV.

Bestrahlung 5 H; 1 Tag nach der Bestrahlung.

Tabelle 5.

Vers. Nr.	Aufgenommener O_2 in 1 Stunde		Frischgewicht der Wurzeln in *g*		O_2 per Stunde und auf 1 *g* Gewicht		Temp.	Luft-druck	Ver-hältnis
	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	° C	*mm* Hg	100
21	0·618	0·453	0·970	1·146	0·637	0·395	25·04	738	62·0
24	0·717	0·618	0·913	0·971	0·785	9·637	25·03	727	81 1
27[1]	0·685	0·728	0·984	1·070	0·696	0·674	25·04	741	96·8
28	0·513	0·515	0·724	0·787	0·708	0·654	25·04	—	92·4
29[1]	0·519	0·456	0·644	0·714	0·806	0·639	25·04	734	79·2
30	0·516	0·453	0·588	0·744	0·878	0·607	25·03	735	69·4
31[1]	0·548	0·540	0·912	0·903	0·600	0·598	25·02	741	99·6
32[1]	0·413	0·430	0·525	0·701	0·786	0·613	25·04	741	78·1

Mittel aus den Frischgewichten: Kontr.: 0·783 *g*, bestr.: 0·879 *g*.

[1] Mit vertauschter Apparatur ausgeführt.

Auch 24 Stunden nach der Bestrahlung finden wir eine sehr deutliche Atmungsdepression. Sie ist aber schwächer als bei den vorhergehenden Gruppen. Der Mittelwert beträgt:

100 82·3;

Variationskoeffizient: $\pm$ 15·1;

$m = \pm 4 \cdot 4$ ($\pm 5 \cdot 3\%$).

Die Wurzeln waren naturgemäß auch viel kürzer, gerade so lang, daß die 1 *cm* langen Wurzelspitzen bequem abgeschnitten werden konnten. Daraus erklärt sich auch ihr etwas größeres Gewicht, da sie in diesem Alter meist noch etwas dicker sind. Ein äußerer Unterschied zwischen Kontroll- und bestrahlten Wurzeln ist ebenfalls kaum vorhanden, wie auch das Verhältnis der Gewichte zeigt, das auf 100 112 gesunken ist. Bräunung war bei den bestrahlten Wurzeln noch nicht zu beobachten. Trotzdem ist die Atmung beträchtlich herabgesetzt.

Versuchsserie V.

Bestrahlung 5 H; 6 Stunden nach der Bestrahlung.

Die Atmung dieser Wurzeln weicht nur sehr wenig von der Kontrolle ab. In einem Versuch übersteigt sogar die Atmung der bestrahlten Wurzeln die der Kontrolle. Der Mittelwert beträgt:

100 97·4;

Variationskoeffizient: $\pm 2 \cdot 4\%$;

$m = \pm 1 \cdot 0$ ($\pm 1 \cdot 0\%$).

Tabelle 6.

Vers. Nr.	Aufgenommener O_2 in 1 Stunde in cm^3		Frischgewicht der Wurzeln in g		O_2 per Stunde und auf 1 g Gewicht		Temp.	Luft-druck	Ver-hältnis
	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	° C	*mm* Hg	100
33	0·366	0·371	0·464	0·465	0·790	0·797	25·04	—	101·0
34[1]	0·415	0·418	0·585	0·622	0·709	0·671	25·04	735	94·6
35	0·485	0·430	0·681	0·628	0·712	0·685	25·03	737	96·1
36[1]	0·370	0·365	0·412	0·426	0·898	0·857	25·02	740	95·4
41	0·432	0·402	0·638	0·608	0·677	0·661	25·03	735	97·6
43	0·118	0·340	0·181[2]	0·522	0·652	0·637	25·04	738	99·9

Wurzellänge im Mittel: 3·5 *cm.*

[1] Mit vertauschter Apparatur ausgeführt.

[2] Durch ein Versehen wurden hier nur zehn Wurzeln verwendet; die Zahl der bestrahlten betrug 29.

Die Variation ist hier zwar auffallend gering, doch kann dies auf Zufall beruhen; denn die Variabilität der Leerversuche ist bedeutend größer. Trotzdem ist der Wert von 97·4 nicht mehr absolut sicher von 100 verschieden. Wir können nur sagen, daß 6 Stunden nach der Bestrahlung die ersten Anzeichen einer Atmungsdepression wahrnehmbar werden. Auffallend ist der große Gegensatz gegen die Versuchsresultate 24 Stunden nach der Bestrahlung.

Versuchsserie VI.

Bestrahlung 5 H; zirka 45 Minuten nach der Bestrahlung.

Tabelle 7.

Vers. Nr.	Aufgenommener O_2 in 1 Stunde in cm^3		Frischgewicht der Wurzeln in g		O_2 per Stunde und auf 1 g Gewicht		Temp.	Luft-druck	Ver-hältnis
	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	° C	*mm* Hg	100
44	0·345	0·383	0·551	0·580	0·626	0·660	25·02	—	105·3
45[1]	0·383	0·383	0·466	0·443	0·821	0·863	25·03	733	105·3
46	0·418	0·435	0·504	0·516	0·828	0·843	25·03	733	101·8
47[1]	0·489	0·489	0·602	0·663	0·812	0·738	25·03	731	90·8
48	0·420	0·458	0·497	0·533	0·845	0·858	25·04	738	101·6
49[1]	0·315	0·380	0·519	0·519	0·607	0·732	25·03	735	120·6

Wurzellänge im Mittel: 3 *cm.*

[1] Mit vertauschter Apparatur ausgeführt.

30 bis 60 Minuten nach der Bestrahlung finden wir zum erstenmal Werte, die im Durchschnitt über denen der Kontrolle liegen. Der Mittelwert ist:

$$100 \quad 104 \cdot 2;$$
$$\text{Variationskoeffizient: } \pm 8 \cdot 4\%;$$
$$m = \pm 3 \cdot 6 \ (\pm 3 \cdot 4\%).$$

Der mittlere Fehler des Mittelwertes ist sehr bedeutend und gestattet eigentlich nicht, den gefundenen Mittelwert sicher von der Kontrolle zu unterscheiden. Berechnen wir die Differenz zwischen diesen und den Leerversuchen, so erhalten wir:

$$D = 3 \cdot 88 \pm 4 \cdot 14.$$

Variationsstatistisch ist der Wert von 104·2 also durchaus nicht gesichert.

Trotz alledem ist die Neigung der Werte der einzelnen Versuche, über 100 anzusteigen, sichtlich vorhanden. Ich glaube, wir können also, wenn auch mit Reserve, behaupten, daß kurze Zeit nach der Bestrahlung eine Steigerung der Atmung in der Wurzelspitze eintritt.

Zur Orientierung wurden auch einige Versuche angestellt, bei denen die Wurzeln teils mit 1 H, teils mit 10 H bestrahlt wurden. Die Resultate geben die Tabellen 8 und 9 wieder.

Versuchsserie VII.

Bestrahlung 1 H; zirka 50 Minuten nach der Bestrahlung.

Tabelle 8.

Vers. Nr.	Aufgenommener O_2 in 1 Stunde in cm^3		Frischgewicht der Wurzeln in g		O_2 per Stunde und auf 1 g Gewicht		Temp.	Luft-druck	Ver-hältnis
	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	° C	mm Hg	100
60	0·345	0·360	0·494	0·484	0·699	0·744	25·03	731	106·4
61[1]	0·398	0·385	0·485	0·500	0·821	0·771	25·03	—	94·0
62	0·400	0·378	0·496	0·549	0·808	0·688	25·04	741	90·3
63[1]	0·370	0·388	0·481	0·467	0·771	0·831	25·04	741	107·8
66	0·405	0·435	0·608	0·606	0·666	0·718	25·07	734	107·8
67[1]	0·422	0·410	0·549	0·542	0·768	0·757	25·05	740	98·8
68	0·411	0·390	0·544	0·525	0·756	0·743	20·05	740	98·5
69[1]	0·388	0·363	0·464	0·456	0·836	0·797	25·05	739	95·4

Wurzellänge im Mittel: 3·5 bis 4·0 cm.

[1] M vertauschter Apparatur ausgeführt.

Bei einer Dosis von 1 H finden wir gar keinen merklichen Unterschied in der Atmung der beiden Wurzelgruppen. Der Mittelwert beträgt:

100 99·9;
Variationskoeffizient: $\pm$ 6·3%;
$m = \pm 2 \cdot 2$ ($\pm$ 2·2%).

Dieses negative Resultat ist bis zu einem gewissen Grad unerwartet, denn aus früheren Versuchen (siehe Bersa, I. p. 435) ist es bekannt, daß die Dosis von 1 H eine bedeutende Behinderung (etwa 50%) des Wurzelwachstums auslöst. Infolgedessen werden in der Wurzelspitze sicherlich Störungen eintreten (Kernteilungsdepression, Kernteilungsanomalien, Korrelationsstörungen etc.; siehe dazu auch Bersa, II). Die nach den Resultaten von Reich per analogiam erwartete Reizwirkung tritt nach dieser kurzen Zeit (höchstens 1 Stunde) nicht ein. Es ist aber wahrscheinlich, daß diese erst längere Zeit nach der Bestrahlung beobachtet werden kann (nach etwa 6 bis 12 Stunden), wie auch Reich angibt.

Versuchsserie VIII.

Bestrahlung 10 H; zirka 35 Minuten nach der Bestrahlung.

Tabelle 9.

Vers. Nr.	Aufgenommener O_2 in 1 Stunde in cm^3		Frischgewicht der Wurzeln in g		O_2 per Stunde und auf 1 g Gewicht		Temp.	Luftdruck	Verhältnis
	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	Kontr.	bestr.	°C	mm Hg	100
49	0·315	0·380	0·519	0·519	0·607	0·732	25·03	735	120·6
50[1]	0·358	0·325	0·480	0·480	0·745	0·677	25·03	734	90·9

Wurzellänge im Mittel: 3·5 cm.

[1] Mit vertauschter Apparatur ausgeführt.

Während der erste Versuch eine bedeutende Atmungssteigerung gibt, bleibt der Atmungswert des zweiten Versuches um 9% unter dem der Kontrolle. Wir können daher noch nichts Sicheres darüber aussagen, ob auch starke Dosen (supraletale) am Anfang wenigstens eine Atmungssteigerung hervorrufen können. Versuche darüber stehen noch aus.

Zur besseren Übersicht können wir die Resultate der Versuche graphisch darstellen (Fig. 4). Trotz der großen Unsicherheit der Werte erhalten wir eine charakteristische Kurve; ganz am Anfang ein steiler, aber kurzer Anstieg der Atmung, mit darauf folgendem langsamen, aber entschiedenen Abfall.

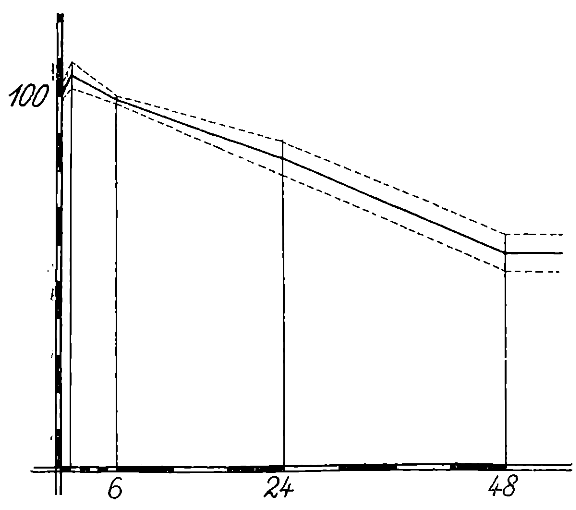


Fig. 4. Graphische Darstellung der Atmung von mit 5 H bestrahlten Wurzelspitzen aus den Mittelwerten der Tabellen 1 und 3 bis 7. Die Atmungswerte nach 72 Stunden (Tab. 2) sind nicht eingetragen, da sie denen nach 48 Stunden fast gleich kommen. Abszisse: Zeit nach der Bestrahlung in Stunden. Ordinate: Atmungsintensität, die der Kontrolle gleich 100 gesetzt. Die punktierten Linien geben den mittleren Fehler des Mittelwertes an.

Allgemeines.

Die im vorstehenden dargestellten Versuchsergebnisse decken sich also im wesentlichen mit denen von Reich, was um so erfreulicher ist, als sich unsere Untersuchungen in mehreren Punkten weitgehend voneinander unterscheiden. Abgesehen davon, daß mit verschiedenen Versuchsobjekten experimentiert wurde (*Pisum*-Samen, *Faba*-Wurzelspitzen), war auch die Methodik eine wesentlich verschiedene. Während Reich seine Samen mit Radium bestrahlte und die Quantität der ausgeschiedenen Kohlensäure ermittelte, prüfte ich die Wirkung der Röntgenstrahlen durch Bestimmung der Menge des aufgenommenen Sauerstoffes. Aus der prinzipiellen Übereinstimmung der Ergebnisse läßt sich mit aller Wahrscheinlichkeit schließen, daß die Atmung durch die Strahlenwirkung bei verschiedenen Pflanzen und Organen gleichartig beeinflußt wird. Die Strahlenwirkung scheint somit primär von der normalen Atmungsintensität unabhängig zu sein.

Am interessantesten ist jedenfalls die Tatsache, daß ich bei der Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffes dieselben Ergebnisse erhielt wie Reich, der die abgegebene Kohlensäure bestimmte, was um so bemerkenswerter ist, als ja von vorneherein ein Gleichbleiben des Verhältnisses CO_2 O_2 nicht zu erwarten war. Es ist daher wahrscheinlich, daß der Atmungsquotient sich unter der Einwirkung der Bestrahlung nicht wesentlich ändert, worüber noch keine speziellen Untersuchungen vorliegen. Die Tatsache, daß in meinen Versuchen die

Reizwirkung so gering und so kurz war, läßt sich wohl so erklären, daß die von mir verwendeten Dosen sowie die während des Versuches herrschende Temperatur relativ hoch waren. Reich verwendete bei seinen Versuchen Temperaturen, die sich im allgemeinen um 20° oder darunter bewegten. Nur in einzelnen Versuchen (Sommermonate) stieg die Temperatur über 20° Die Geschwindigkeit der Zellvorgänge ist daher in meinen Versuchen eine höhere gewesen. Es ist bedauerlich, daß die Reich'schen Versuche nicht bei konstanter Temperatur durchgeführt wurden. Bekanntlich reagieren die Atmungsvorgänge auf Temperaturschwankungen durch Zunahme der Atmungsintensität. Wenn solche Atmungsschwankungen die zu analysierenden Vorgänge überlagern, kann deren Verlauf wesentlich getrübt werden. Denn es ist nirgends bewiesen, daß die bestrahlten Samen in bezug auf den Temperaturkoeffizienten sich gleich verhalten wie die Kontrollen. Meine Versuche geben aber noch keinen Aufschluß, ob die von Pekarek (1927) und mir beobachtete Kernteilungsdepression und Wachstumshemmung mit den Atmungsvorgängen in irgendeinem Zusammenhang stehen.

Über den Mechanismus, der bei der Beeinflussung der Atmung durch Bestrahlung wirksam ist, wissen wir eigentlich gar nichts.[1] Es dürfte aber sicher sein, daß die Änderung der Atmungsprozesse eine sekundäre Erscheinung ist, die auf vorhergegangene, durch die Bestrahlung gesetzte Schädigungen zurückzuführen ist. Tatsächlich beobachtet man gleiche Atmungsänderungen bei den verschiedensten Reizen (Gifte, Narkotika, Wundreize etc.).

Petry (1923) hat aus seinen Versuchen geschlossen: »Der unmittelbare Effekt der Bestrahlung besteht somit darin, daß das Gewebe gegen Sauerstoffzutritt empfindlich gemacht wird, und die Latenzzeit entspricht jener Zeitdauer, deren die Einwirkung der Sauerstoffatmung bedarf, um das durch die Bestrahlung für sie empfindlich gemachte Gewebe hinreichend zu schädigen« (p. 3 des Sonderabdruckes).

Über die Art dieser Sensibilisierung kann er freilich auch nur Vermutungen aufstellen. Vielleicht führen aber die Arbeiten von Lieber um einen Schritt weiter. Er beobachtete, daß durch die Bestrahlung das Kationenverhältnis K—Ca gestört wird. Es ist sehr gut möglich, daß darin die Ursache der Atmungsstörungen liegt; denn bekanntlich wird die Atmung durch die Art der Kationenmischung wesentlich beeinflußt (Literatur bei Höber, 1926). Ob es sich dabei um die primäre Ursache handelt, können wir allerdings noch nicht entscheiden; jedenfalls bildet aber diese Verschiebung eines der vielen Glieder in der Kette der Veränderungen, die als Folge der Röntgenbestrahlung auftreten.

---

1 Siehe dazu die interessante Arbeit von Ellinger und Landsberger (1923).

Zusammenfassung.

Es wurde die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Atmung abgeschnittener Wurzelspitzen von *Vicia faba* mittels eines Haldane'schen Gasbestimmungsapparates untersucht. Die Resultate sind folgende:

1. Durch die Bestrahlung wird die Atmung im depressivem Sinne beeinflußt. Schon 6 Stunden nach der Bestrahlung mit 5 H beginnt die Atmung unter die der Kontrolle zu sinken.

2. Kurze Zeit nach der Bestrahlung ($^1/_2$ bis 1 Stunde) scheint eine vorübergehende, schwache Förderung, die als traumatische Reizwirkung gedeutet werden kann, einzutreten, die aber nicht von Dauer ist.

3. Schwächere Dosen (1 H) üben kurze Zeit nach der Bestrahlung ($^1/_2$ bis 1 Stunde) auf die Atmung keine merkliche Wirkung aus.

4. Aus dem Vergleich dieser Ergebnisse mit denen der Reich'schen Arbeit wird folgendes geschlossen:

a) Die Atmung wird durch die Bestrahlung bei verschiedenen Pflanzen und Organen gleichartig beeinflußt. Die Strahlenwirkung ist von der normalen Atmungsintensität unabhängig;

b) das Verhältnis zwischen abgegebener Kohlensäure und aufgenommenen Sauerstoff (Atmungskoeffizient) scheint durch die Bestrahlung nicht verschoben zu werden.

Literatur.

Barreto, A. L., The effect of X-rays exposure. Journ. of metabolic research, Bd. 3, 1923.

Bersa, E., Strahlenbiologische Untersuchungen, I. Zur Frage der Röntgenreizwirkung bei Keimlingen. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 135, 1926.

— Strahlenbiologische Untersuchungen, II. Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Kernteilung der Wurzelspitzen von *Zea mays*. Ebenda. Bd. 136, 1927.

Ellinger, P. und Landsberger, M., Über den Mechanismus der katalytischen Komponente der Zellatmung und ihre Beeinflussung durch Röntgenstrahlen, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis des Angriffspunktes der biologischen Röntgenwirkung. Klin. Wochenschr., Bd. 2, 1923.

Gottschalk, A. und Nonnenbruch, W., Die Wirkung von Strahlenenergie auf die Gewebsatmung tierischer Zellen. Strahlentherapie, Bd. 15, 1923.

Haldane, J. S., A new apparatus for accurate blood-gas analysis. Journ of pathol. and bacteriol., Bd. 23, 1920, p. 443—450.
(Ref. in den Ber. über die ges. Physiol. etc., Bd. 6, 1921, p. 396.

Hébert, A. und Kling, A., De l'influence des radiations du radium sur les fonctions chlorophyllienne et respiratoire chez les végétaux. Comptes rendus Ac. Sc. Paris, Bd. 149, 1909.

Höber, R., Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. 6. Aufl., Leipzig, 1926.

Johnson, E. L., Effects of X-rays upon growth, development and oxiding enzymes of *Helianthus annuus*. Botan. Gaz., Bd. 82, 1926.

Kimura, N., Journ. Cancer Res., Bd. 4, 1919. (Zitiert bei Redfield B.)

Koernike, M., Über die Wirkung verschieden starker Röntgenstrahlen auf Keimung und Wachstum höherer Pflanzen. Jahrb. f. wissensch. Bot., Bd. 56, 1915.

Kondratjew, N. S., Zum Problem der Zellenatmung, 1. Über die Wirkung der Radiumstrahlen auf den Oxydationsmechanismus in der Zelle. Strahlentherapie. Bd. 20, 1925.

Lieber, D., Physikalisch-chemische Wirkung der Röntgenstrahlen im Organismus, III. Strahlentherapie, Bd. 20, 1925.

Pekarek, J., Über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Kern- und Zellteilung bei Wurzelspitzen von *Vicia faba*. Planta, Bd. 4, 1927

Petry, E., Die Rolle des Atmungsvorganges während der Latenzzeit der Röntgenschädigung. Wiener klin. Wochenschr., 1923.

Redfield, A. C. und Bright, E. M., The effects of radium rays on metabolism and growth in seeds. Journ. gen. Physiol., Bd. 4, 1922.

Reich, L., Experimentelles und Theoretisches zur Physiologie der Strahlenwirkung. Studies from the plant physiolog. laborat. of Charles Univ., Prague, Bd. 3, 1925.

Roffo, A. H. und Barbara, B., Einwirkung von Röntgenstrahlen auf die Atmung der normalen und neoplastischen Zellen. Bol. inst. med. exp., Bd. 1, 1925.

Schneider, E., Studien über die Röntgenstrahlenwirkung auf Hefe. Strahlentherapie, Bd. 20, 1925.

Sierp, H., Untersuchungen über die Kohlensäureabgabe aus keimenden Erbsensamen. Flora, N. F., Bd. 8 u. 9 (Goebel-Festschr.), 1925.

Sonne, C., Investigations of the action of light upon oxygen consumption. Acta radiol., Bd. 5, 1926.

Stålfelt, M. G., Die Permeabilität des Sauerstoffs in verwundeten und intakten Keimlingen von *Sinapis alba*. Biolog. Zentrbl., Bd. 46, 1926.

Weber, F., Physiologische Ungleichheit bei morphologischer Gleichheit. Österr. bot. Zeitschr., 1925.

Wels, P., Der Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Oxydationsgeschwindigkeit der Zellen. Pflüg. Arch. f. ges. Physiol., Bd. 203, 1924.

Wels, P. und Osann, M., Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Hefezelle Pflüg. Arch. f. ges. Physiol., Bd. 207, 1925.
